

Title of The Invention

欠陥検査方法および装置

DEFECT INSPECTION METHOD AND APPARATUS

Background of The Invention

本発明は、被検査パターン^{QU}の欠陥を検出する外観検査に係り、特に半導体ウェハや液晶ディスプレイなどにおける被検査パターン^{QU}の欠陥検査方法及びその装置に関するものである。

従来、この種の検査装置は、日本国特許出願の特開昭55-74409号公報記載の技術の如く、被検査パターンを移動させつつ、ラインセンサ等の撮像素子により被検査パターン^{QU}の画像を検出し、前記検出した画像信号と所定時間だけ遅延させた画像信号の濃淡を比較することにより、その不一致を欠陥として認識するものであった。

また、日本国特許の特公平8-10463号に記載のように、比較は2枚の画像を整列させて、行うものであった。

上記従来の欠陥の認識方法を詳しく、Fig. 1、2、3、4を参照して説明する。

Fig. 1は、従来技術の被検査パターン^{QU}のメモリチップにおけるメモリマツト部と周辺回路部の略示説明図、Fig. 2は、Fig. 1のメモリチップにおけるメモリマツト部と周辺回路部における明るさのヒストグラム、Fig. 3は、CMP（ケミカルメカニカル）などの平坦化処理された被検査パターン^{QU}の略示図である。

Fig. 1に示す如く、半導体ウェハ上にはメモリチップ20が多数配設されて形成されている。前記メモリのチップ20は、メモリマツト部21と周辺回路部22に大別することができる。前記メモリマツト部21は小さな繰返しパターン（セル）の集合であり、前記周辺回路部22は基本的にはランダムパターンの集合である。ただし、多くの場合、子細に見ると複数の異なるセルピッチを有する繰返しパターンの集合体とみなすことができる。

Fig. 2には、Fig. 1のメモリマツト部21および周辺回路部22における明るさの分布、すなわち、10ビット構成で最大1024階調として、メモリチップ内の

明るさに対する頻度（ヒストグラム）を示したものであるが、前記メモリマット部 21 はパターン密度が高く一般的に暗い。一方、前記周辺回路部 22 はパターン密度が低く一般的に明るい。

Fig. 3 に示した、CMP などの平坦化プロセスでは、Fig. 4 に示すヒストグラムでわかるように、メモリマット部 21 内の回路パターンは、パターンの膜厚の違いによって明るさの違いを生じさせている。同図では、配線層をデポジションした後、CMP 処理により平坦化したものである。このようなパターンでは、膜厚が局所的に変動し、明るさむらが生じやすい。このようなパターンの場合、Fig. 2 と Fig. 3 に示すパターンの明るさを比較することになり、明るさの違いを誤検出しないようにしきい値を設定すると、きわめて欠陥検出感度を低下させてしまう。このような明るさの違いは、照明光として波長帯域の広いものを使用すれば、ある程度は相殺できるが、CMP 処理されたパターンについては、明るさの変動が大きいこともあり、限界がある。このため、明るさの異なるパターンから微小な欠陥を検出することが望まれていた。

さらに、従来は、2 枚の画像の差の 2 乗和を計算し、これに放物面を当てはめて、画像の位置ずれを検出していた。しかし、これでは、比較する 2 枚の画像が一致するという保証がなく、比較する上で最適なマッチングが望まれていた。Fig. 5 は、2 枚の画像（後述の Fig. 13 の $f(x, y)$ ）の各画素についての差の 2 乗和を、一方の画像を x, y 方向に ± 1 画素の範囲でシフトしてもとめた実験結果である。横軸が x 方向、縦軸が y 方向である。図中の値は、差の 2 乗和である。

ここでは、同一の画像（Fig. 13 の $f(x, y)$ ）を用いている。即ち、差の 2 乗和として、 $\sum (f(x, y) - f(x \pm 1, y \pm 1))^2$ を算出している。Fig. 5 からわかるように、同一の画像でも差の 2 乗和は、 $(0, 0)$ を中心に対称ではなく、0.6% 程度の非対称性がある。同一の画像であるため、 $(0, 0)$ で差の 2 乗和は 0 になっている。従って、このデータに放物線を当てはめ画素寸法以下の分解能で差の 2 乗和が最小になる位置を求めても、正確な位置のずれ、ここでは $(0, 0)$ は検出できない。

さらに、CMPなどの平坦化プロセスのウエハでは明るさが異なる。この明るさの違いの影響を示す。ここでは、1枚の画像と、その明るさを1.1倍したものを使用した。1.1倍というのは、CMPウエハ明るさ変動としては普通か或いは小さいものである。実験結果をFig. 6に示す。差の絶対値の和を表示している。最小位置は、(0, 1)となっている。画素以下の分解能どころか画素のレベルで大きな誤差がある。差の2乗和も同じ傾向であるが、これらのデータから、画像の位置ずれは正確に求められないことがわかる。勿論、1.05倍でも同様の傾向にある。このように、差の2乗和に放物面を当てはめ、これから最小となる位置を求めることは、極めて大きな誤差をもつ方法と言わざるを得ない。

Summary of The Invention

本発明の目的の一つは、上記従来の技術課題を解決すべくなされたもので、明るさの異なるパターンも比較検査可能にし、つねに高感度で、欠陥を信頼性高く検査することができる被検査パターンの欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、高精度な画像マッチング法を用いた被検査パターンの欠陥検査方法及びその装置を提供することにある。

さらに、CMPなどの平坦化処理されたウエハパターンを対象にした場合にも、高感度な欠陥検出方法及びその装置を提供することにある。

上記目的を達成するため、本発明では、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせ、この明るさを合わせた第1の画像と第2の画像とを比較することによりパターンを検査するようにした。

また、本発明は、本来同一形状となるように形成された複数個の組のパターンを有してこの複数個の組のパターンの表面が平坦化加工処理された試料のパターン

の欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを光学的に撮像して第1の被検査パターンの第1の画像信号を得、この第1の画像信号を記憶し、第2の被検査パターンを光学的に撮像して第2の被検査パターンの第2の画像信号を得、記憶した第1の画像信号と第2の画像信号との少なくとも何れか一方を局所的に階調変換し、この少なくとも何れか一方を局所的に階調変換した第1と第2の画像信号を比較することによりパターンを検査する方法とした。

また、本発明は、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像とを画素単位で位置ずれを補正し、この画素単位で位置ずれを補正した記憶した第1の画像と第2の画像とのいずれか或いは双方の明るさ変換し、この明るさを変換した第1の画像と第2の画像とを比較してこの第1の画像と第2の画像との不一致を欠陥として検出し、この検出した結果をディスプレイ上に表示するようにした。

上記のような構成とすることにより、本発明によれば、比較すべき2つの検出画像の散布図を使うことで、不一致情報の確からしさを判断できる。また、散布図より得られる情報を用いて欠陥検出することにより、信頼度の高い検査が可能になる。さらに、散布図を使うことにより、妥当なしきい値の決定ができる。さらには、不一致情報の確からしさをを用いて、欠陥レビューなどを効率的に実施できる。

従って、信頼度を付与することにより、信頼性のある検査データの活用が可能になる。また、多層のパターンの膜厚保の違いによって生ずる明るさの違いによって全体の検査感度が律束されることなく、欠陥を高感度に検出することができる。これにより、半導体デバイスの製造工程において、CMP加工後のウェハのパターンの欠陥の検査を、検出の精度を下げることなく、高い信頼度で検出することができる。

Brief Description of The Drawings

Fig. 1は、被検査パターンのメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部の略示説明図である。

Fig. 2は、メモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

Fig. 3は、CMPプロセス処理のフローを説明する図である。

Fig. 4は、CMP処理された、異なるメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

Fig. 5は、2枚の画像の差の2乗和を表す図であり、Fig. 6は、2枚の画像の差の絶対値の和を表す図である。

Fig. 7およびFig. 8は、それぞれ本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

Fig. 9は、Fig. 7およびFig. 8の画像明るさ一致フィルタ操作部12の詳細な説明図であり、Fig. 10に、双対フィルタの例を示す。また、Fig. 11に、画像明るさ一致フィルタ操作部12の動作を説明する。

Fig. 12は、局所階調変換部13の詳細な説明図である。

Fig. 13は、本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図、Fig. 14は、Fig. 15は、本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

Fig. 19およびFig. 20は、それぞれしきい値設定方式を説明する図である。

Fig. 21～Fig. 23は、比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での局所コントラストの散布図を表わす図である。

Fig. 24は、本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

Fig. 25は、しきい値演算回路48の構成を説明する図である。

Fig. 26は、本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

Fig. 27は、本発明の一実施形態に係る散布図作成24、および表示25を説明

する図である。

Fig. 28およびFig. 29は、比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での結果を表わす図である。

Fig. 30～Fig. 32は、比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での散布図を表わす図である。

Fig. 33～Fig. 37は、散布図の1例を表わす図である。

Fig. 38は、本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の概略構成を示す略断面図である。

Fig. 39は、本発明の一実施形態に係る散布図作成、表示を説明する図である。

Fig. ^{40A, 40B}~~40~~は、本発明の一実施形態に係る局所階調変換を説明する図である。

Fig. 41は、本発明の一実施形態に係る散布図作成、表示を説明するブロック図である。

Fig. 42は、比較する2枚の画像に関して、各画像処理の段階での結果を表わす図、Fig. ^{43A, 43B}~~43~~は、散布図を表わす図である。さらに、Fig. ^{44A-44C}~~44~~は、欠陥の出力リストの例、Fig. 45は、画像の位置ずれ量を説明する図、Fig. 46は、スペクトル分析を説明する図である。

Description of The ~~Preferred~~ Embodiments

図面を参照して、本発明によるいくつかの実施の形態を、以下に説明する。

〔実施の形態 1〕

Fig. 7及びFig. 8に、本発明の第一の実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図を示す。

本実施の形態においては、半導体ウエハの被検査パターンを例として説明する。

Fig. 7及びFig. 8において、1はイメージセンサであり、被検査パターンである半導体ウエハ4からの反射光の明るさ、すなわち濃淡に応じた濃淡画像信号を出力するものであり、2はイメージセンサ1から得られる濃淡画像信号をデジタル画像信号9に変換するA/D変換器、3は濃淡画像信号を遅延させる遅延メモリ、4

は被検査パターンのある半導体ウエハ、5は被検査パターンの半導体ウエハ4を載置するX方向とY方向とZ方向と θ 方向（回転）の移動するステージ、6は半導体ウエハ4に対する対物レンズ、7は被検査パターンの半導体ウエハ4を照明する照明光源、8は照明光を反射して対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に照射すると共に、半導体ウエハ4からの反射光を透過するハーフミラー、9は濃淡画像信号がA/D変換器で変換されたデジタル画像信号である。このようにして、照明光源7からの照明光を反射させて対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に対して、例えば明視野照明を施すように構成している。

また、3は、画像信号9を繰り返される1セルまたは複数セルピッチ分を記憶して遅延させる遅延メモリであつてもよいし、画像信号9を繰り返される1チップまたは複数チップピッチ分記憶して遅延させる遅延メモリでもよい。

11はデジタル画像信号9及び遅延されたデジタル画像信号10を位置合わせするものであり、ここでは、画素単位で濃淡差が最小となる位置ずれ量を検出し、この位置ずれ量に基づき一方の画像をシフトして、2枚の画像を位置合わせするものである。ここで、画像はイメージセンサにより連続的に検出されるが、画像を例えば256ラインごとに分割し（このライン数は、後述する方法により決定される）、この単位で位置合わせを行う。12は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号を変換する明るさ変換部である。ここでは、画像全体に一括したフィルタ操作を実施して、明るさを一致させている。

13は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号の階調を変換する階調変換部である。ここでは、個々の画素毎にゲインとオフセットにより線形変換を実施して、明るさを一致させている。そして、得られた画像信号を比較部14において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。

検出された画像信号は、パイプライン型の画像処理により、順次一定の処理が施され、最後に欠陥とその特徴が出力されるものである。

なお、上記例では照明として、明視野照明を採用したが、これに限るものでなく、暗視野照明、輪帯照明などの顕微鏡照明として使用できるものならば、差し支え

ない。また、電子線による照明でも適用できることは言うまでもない。

これらの照明条件を種々変えて、複数回検査し、これら複数回の検査結果の論理和を取って最終結果としても差し支えない。或いは、論理積をとって確実に欠陥として識別し、例えばこの欠陥分布や個数によってプロセス診断してもよい。この場合、不一致部の目視確認を行うレビューは不要として作業の簡素化、簡易化を図ることもできる。

次に上記構成の検査装置の動作についてFig. 7～12を参照して説明する。Fig. 7とFig. 8では、処理順序を変えてある。

Fig. 7及びFig. 8において、対物レンズ6で収束させた照明光で、ステージ5をX方向に走査して被検査パターンの半導体ウエハ4の対象領域について等速度で移動させつつ、イメージセンサ1により前記半導体ウエハ4上に形成された被検査パターン、すなわちチップ20内のメモリマツト部21および周辺回路部22の明るさ情報（濃淡画像信号）を検出する。

1列分の移動が終わると、隣の列にY方向に高速移動し、位置決めする。すなわち、等速移動と高速移動を繰り返して検査を行うものである。もちろん、ステップ&リピート型の検査でも差し支えない。そして、A/D変換器2は、イメージセンサ1の出力（濃淡画像信号）をデジタル画像信号9に変換する。このデジタル画像信号9は10ビット構成である。勿論、6ビット程度あれば、画像処理する上では特に問題ないが、微小欠陥を検出するにはある程度のビット数が必要である。

まず、画素単位の画像位置合わせについて説明する。画素単位の画像位置合わせは、比較する二枚の画像の一方を画素の単位でずらしながら濃淡差（画像の各画素の値と対応画素の値の差）を演算し、濃淡差が最小となる位置ずれ量を求めるものである。画像の位置ずれ検出の範囲は、例えば最大±3画素とし、またパターンの設計ルールに応じて可変とする。得られた位置ずれ量だけ片方の画像位置をずらせることにより、二枚の画像の位置合わせを行なうものである。

下記に、位置合わせの方法について説明する。

∴ (1)

ただし、最小となる位置は画素単位でしか求められないため、真の位置が求めた Δx 、 Δy のどちらの近くにあるかにより、オフセットとして加える。

すなわち、

..(數2)

.. (續3)

..徵4)

..(5)

このように位置合わせにより、つねに得られた位置ずれ量だけ片方の画像の位置をずらせることにより、二枚の画像の位置合わせが行なわれる。すなわち、画像 f を常に右上移動して、新たな画像 f' を求めることになり、移動方向を 4 種類(右下移動、左上移動、左下移動、右上移動) から 1 種類に特定することができる。これはハードウェアの簡単化につながるものである。

Fig. 9は、明るさ一致フィルタ操作部12を詳しく示したものである。画素単位

で位置合わせされた2枚の画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ に関して、まず画像内で下記値を最小にするフィルタ F 、 F' を求める。

$$\sum (F * f(x, y) - F' * g(x, y))^2 \quad \dots (6)$$

フィルタ F 、 F' は、例えば 2×2 画素のサイズをもつものである。

Fig. 10 にフィルタの1例を示す。フィルタ F と F' は、同図に示すように対称形であり、双対である。このような双対形にすると、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解くことができる。

$$\alpha = \frac{(\sum \sum C_0 * C_y) * (\sum \sum C_x * C_y) - (\sum \sum C_0 * C_x) * (\sum \sum C_y * C_y)}{(\sum \sum C_x * C_x) * (\sum \sum C_y * C_y) - (\sum \sum C_x * C_y) * (\sum \sum C_y * C_x)} \quad \dots (7)$$

$$\beta = \frac{(\sum \sum C_0 * C_x) * (\sum \sum C_x * C_y) - (\sum \sum C_0 * C_y) * (\sum \sum C_x * C_x)}{(\sum \sum C_x * C_x) * (\sum \sum C_y * C_y) - (\sum \sum C_x * C_y) * (\sum \sum C_y * C_x)} \quad \dots (8)$$

ただし、

$$C_0 = f(x, y) - g(x, y) \quad \dots (9)$$

$$C_x = |f(x+1, y) - f(x, y)| - |g(x-1, y) - g(x, y)| \quad \dots (10)$$

$$C_y = |f(x, y+1) - f(x, y)| - |g(x, y-1) - g(x, y)| \quad \dots (11)$$

本方式は、対象である二枚の画像にフィルタリングを施し、その濃淡の二乗誤差を最小にして一致させるものである。繰返し演算などが不要であり、一回の演算で実現可能なものである。

上記方式の特徴は、二枚の画像の濃淡が、二乗の誤差最小の意味でよく一致するようにフィルタ係数 α 、 β を求めるものである。特に、これらのパラメータは必ず

提案したマッチング方式は、2枚の画像の明るさの2乗誤差が最小になることを保証するものであり、この点で他の方式と一線をかくすものである。Fig. 11に示すように、線形近似であるため、フィルタの係数である α は、位置ずれとみなすと、誤差をもつ。しかし、得られた明るさは一致している。本方式は、画像間の濃淡の違いを本質的に小さくでき、比較検査において極めて都合のよい方式であると考えられる。

Fig. 1 2は、局所的な階調変換部 1 3を詳しく示したものである。画素単位で位置合わせされ、明るさ一致フィルタ操作出力の2枚の画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ に関して、まず画像内の定めたエリア内で下記の値を最小にするパラメータ a 、 b (a : ゲイン、 b : オフセットに相当) を求める。

パラメータ a 、 b は、上記した値を a 、 b で偏微分し、零とおくことによって求められる。例えば、定めたエリアとは、各点の周囲の 7 の範囲である。

$$a * g(x, y) + b$$

.. ~~(13)~~

と変換する。これにより明るさが一致した画像が得られる。パラメータ a 、 b は、位置 (x, y) ごとに異なる値を取りうる。

$$a = (\sum (f(x,y)g(x,y)) - \sum f(x,y) \sum g(x,y)/MN) / (\sum g(x,y)g(x,y) - \sum g(x,y) \sum g(x,y)/MN) \quad \text{--- (14)}$$

$$b = (\sum f(x,y) - a \sum g(x,y)) / MN \quad \text{--- (15)}$$

ここで、 Σ の範囲の画素数を MN としている。

さらに、 Σ の範囲において、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさが大きく異なるときは、これを加算しないこともよい方法である。

或いは、加算自体はするのであるが、加算するとき、重みを付けて、寄与率を下げるのが有効である。例えば、 (x, y) の着目画素の明るさを c とし、 Σ の範囲内の別の画素の明るさを d とすると、重み $W(x, y)$ を

$$W(x, y) = \max[1 - (c - d)^2 / (D * D), 0] \quad \text{--- (16)}$$

とする。ここで、 $\max[]$ は最大値検出、 c 、 d はいずれも 8 ビット階調の明るさである。また、 D は定数とする。

これにより、着目した中央画素と周囲画素の明るさが似ているときは、重みを 1 近くの値にし、似ていないときは、小さい値とするものである。 D は定数としたが、明るさに応じて可変してもよく、 $D = \text{func}(c)$ である。さらには、同じパターンに属するか否かで判断し、異なるパターンの平均明るさを μ とすると、 $D = |c - \mu|$ として与えてもよい。パターンの種類が 3 つ以上ある場合には、似ているパターン間の明るさの違いを D とすればよい。勿論、このような形態にこだわる必要は必ずしもなく、重みを適切に与えられるものならばよい。

Fig5.1 3 ^(A B u-13B) に検出した 2 枚の画像の例を示す。検出した 2 枚の画像には、図示したような明るさに大きな違いがある。この 2 枚の画像を、画素単位の精度で位置合わせを行い、明るさ一致フィルタ操作をした。しかしながら、本画像では明るさの違い

Fig. 13c
 いが大きすぎて、同図に示すように、差画像において、大きな不一致が生じている。
 。このような画像に対し、階調変換処理を実施した。

Fig. 1 4^A ~ 1 6^Bに処理例を示す。Fig. 1 4^A ~ 1 6^Bにおいて、検出した2枚の画像
 $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ 、及び明るさヒストグラムを示す。また、変換後の画
 像 $a * g(x, y) + b$ 、及び明るさヒストグラムを示す。ここでは、 $D = 70$ と
 した。

Fig. 1 4^Bに示すヒストグラムからわかるように、 D の値は双峰性のヒストグラム
 分布の各分布平均の差に相当する値になっている。即ち、このような D が設定され
 た重み W は、同じ分布に属するかどうかの指標になっている。なお、定めたエリア
 は、各点の周囲の 7×7 画素の範囲である。Fig. 1 4^A ~ 1 6^Bから、変換によって明
 るさヒストグラムがほぼ等しくなることがわかる。ここで、Fig. 1 4^A ~ 1 6^Bの画像
 を対象にした実験結果では、画像内のある点で $a = 1.41$ 、 $b = 0$ が得られた。
 この画像では、明るさのゲインが大きく（41%）異なることがわかる。

この例から、オフセット b を常に0と設定し、ゲインだけを可変にする方式も考
 えられる。これらは、対象とするパターンの特性や装置構成等により、決定すれば
 よい。

Fig. 1 7^A ~ 1 8^Bは、このような変換により得られた画像の差を示したもの
 である。Fig. 1 7^A ~ 1 8^Bにおいて、最初の3つは、定めたエリアを、各点の
 周囲の 3×3 、 5×5 、 7×7 画素の範囲としたものである。また、この時の重み
 は、 $W(x, y) = 1$ とした。さらに、最後の1つは、 7×7 画素の範囲について
 、重みを上記した $W(x, y)$ に従うとしたものを示した。これらの図より、エリ
 アが小さい場合は、明るさを局所的に合わせ込み、画像間の不一致が小さくなるこ
 とがわかる。これでは、明るさの許容範囲は広がるが、微小な欠陥を見逃してしま
 う。このため、エリアを検出すべき欠陥に応じて広げる必要がある。しかし、重み
 が1に固定されている場合、パターン領域の境界部が不一致として、即ち虚報とし
 て検出されてしまう。重み付けした場合は、境界の影響が低減され、ほぼ2枚の画
 像の明るさが一致し、微小な欠陥も検出できることになる。

なお、 7×7 画素などのエリアは、必ずしも正方形である必要性はなく、長方形や多角形、或いは円でもよい。また、このような極微小な領域でなく、数 $100 \times$ 数 100 画素といった領域にしてもよく、要は明るさの変動が吸収可能な範囲であればよい。

重み付けの方法は、この他にも、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさの差がしきい値より大きいときは、重みを0とすることもできる。

以上述べた以外に、下記の階調変換も考えられる。

$$W(x, y) (\sigma_f / \sigma_g) (g(x, y) - m_g) + m_f \quad \dots (17)$$

ここで、 σ_f 、 m_f は、それぞれ画像 $f(x, y)$ において、点 (x, y) 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値であり、 σ_g 、 m_g は、それぞれ画像 $g(x, y)$ において、点 (x, y) 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値である。

上記した変換により、画像 $g(x, y)$ の明るさを $f(x, y)$ に一致させることができる。

$W(x, y)$ は、上記した重みでもよいし、画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の定めたエリア内の画像データの相関係数でもよい。

この方式も、結果として2つの画像のヒストグラムが一致するという特長がある。

。いずれの方式も、ゲインとオフセットからなる線形変換の形になっている。

以上のべた階調変換は、着目画素近傍の局所的な明るさ変換である。勿論、目的や画像の特性に従って、画像全体、即ちここでは256ライン全体に適用しても構わないものである。また、2枚の画像のどちらに、一方の画像の明るさを一致させるかは、例えば、画像毎に明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることもできる。また、定めたエリア毎、或いは各点毎に、明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることもできる。

なお、Fig. 7では、画像明るさ一致フィルタ操作の後に、階調変換を実施しているが、この順序は、Fig. 8に示すように入れ替えてよい。

次に、比較器 14 は、本発明者らが開発した方式で日本国出願の特開昭 61-212708 号公報記載の技術に示したもの等で差し支えなく、画像の差画像検出回路、差画像を定めたしきい値で 2 値化する不一致検出回路、2 値化された出力より面積や長さ（投影長）、座標などを算出する特徴抽出回路から構成される。

Fig. 19 及び Fig. 20 を用いて、さらに本発明にかかる 2 値化の際のしきい値設定について説明する。

上記したように、差画像を 2 値化する際、領域の境界などで、虚報が発生しやすい。そこで、Fig. 19 に示すように、画像の局所領域内の最大値と最小値の差、平均値、微分値の x 、 y いずれか大きい方（以下、局所データ）を、各点ごとに算出する。これらの値に、別途定めたパラメータを掛け合わせ、加算する、いわゆる積和演算することにより、しきい値を生成する。これにより、例えば、領域の境界部の明るさ変化が大きいところでは、微分値等が大きくなるので、しきい値が大きくなり、虚報の発生を未然に防ぐことが可能になる。勿論、最大値と最小値の差、平均値、微分値の x 、 y いずれか大きい方は、3 つとも備える必要はなく、いずれかひとつでもよい。例えば、上記した階調変換を実施した場合は、平均値を算出する必要性はない。

このようなしきい値を用いて、画像の差を 2 値化すれば、虚報の問題をより効果的に低減できる。なお、上記局所データは、後述する散布図により分布を求めることにより、その大小の決定支援が可能である。Figs. 21～23 には、画像の局所領域内の最大値と最小値の差に関する散布図を示している。この分布データに線分を当てはめ、線分からの誤差を求める。このような処理を各局所データに関して行い、その積和によってしきい値を決めることが可能である。

たとえば、しきい値 T_h として

$$T_h = C_3 \times \text{局所コントラスト} + C_2 \times \text{明るさ平均}$$

を選ぶと考える。ここで、局所コントラスト画像を、各画素に関して 3×3 画素の最大値－最小値

で定義し、明るさ平均画像を、各画素に関して 3×3 画素の移動平均であらわす。

比較する2枚の画像の局所コントラスト画像を $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ とし

$$V_e = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 2} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) - (m \cdot f(x, y) + n))^2 \quad \text{... (数18)}$$

上式より求められる V_e を σ_k とする。

同様に、明るさの平均画像を $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ とし、求められる V_e を σ_a とする。

これらより、下式 ~~(数19)~~ が決まる。

$$\sigma_g = C_3 \times \sigma_k + C_2 \times \sigma_a \quad \text{... (数19)}$$

同様のことを、画像を変えて行い、係数の C_2 、 C_3 が求められる。

上記した Th を選ぶと考えると、局所コントラストの散布図において、傾き 1 ($m=1$)、切片 0 ($n=0$) の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 σ_k を求める。同様に、明るさ平均の散布図において、傾き 1、切片 0 の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 σ_a を求める。また、もとの2枚の画像の明るさの散布図において、傾き 1、切片 0 の直線から各プロットデータ点までの距離であり、誤差に相当する標準偏差 σ_g を求める。

これらの値を上記 Th の式に代入すると、~~式~~ (数19) のような、 C_2 と C_3 の式が得られる。この操作を異なる場所の画像について行くと、係数が異なる別の C_2 と C_3 に関する式が得られる。従って、これらを連立方程式として解くと、 C_2 、 C_3 という係数が一意に決まる。これより、 C_2 、 C_3 からしきい値 Th が決められる。もちろん、しきい値 Th は、

$$Th = C_3 \times \text{局所コントラスト} + C_2 \times \text{明るさ平均} + \text{オフセット}$$

としてもよい。

更に、別の設定方式として、求めるべき浮動しきい値を、明るさの局所的なコン

トラストや平均値の線形結合として^(式)数(20)で表し、比較する2枚の画像の散布図情報を用いて重回帰分析によりパラメータを算出してもよい。

$$Th = C0 + C1 \times \sqrt{f-g} + C2 \times \sqrt{f} + C3 \times \sqrt{f} + C4 \times \sqrt{f} \quad \dots (20)$$

この時の設定の手順を以下に示す。

- (1) 複数点の画像（2チップ一組）を検出する。
- (2) 検出画像、参照画像のデータから明るさの散布図を作成する。（欠陥を含まない画像を対象とするか、または、欠陥部を除いた画像を用いる。）
- (3) 散布図におけるデータの集合を包絡する点を求めて（評価では、頻度1の点を抽出する）、その点に対応する画像の画素から、局所的コントラストや平均値のデータを抽出する。
- (4) 上記（3）で求めた情報をもとに重回帰分析によりパラメータC0～C4を調整する。
- (5) p値（有意水準）に応じて用いるデータの選択を行う（p値が十分信頼の持てる値（0.05以下）となる組み合わせを求める）。
- (6) 求めたパラメータC0～C4から、しきい値画像を算出して差画像と比較を行う。
- (7) 虚報があれば虚報の情報の加えて、パラメータC0～C4を調整する。
- (8) テスト検査を行う。
- (9) 虚報が発生したら、上記（7）と（8）とを繰り返す。

また、Fig. 20に示すように、上記したように係数と誤差の積和演算ではなく、ルックアップテーブル（LUT）を用いても構成可能である。Fig. 19及びFig. 20に示すように、画像の局所最大値と局所最小値を求め、その差よりコントラストを求め、これをLUTに入力する。同様に、画像の局所平均値を求め、LUTに入力する。これらのLUT出力を別のLUTに入力し、しきい値を求める。LUTの規模を適切なものとするため、Fig. 19及びFig. 20では使用するビット数を8

→6ビットに制限している。求めたしきい値は、比較回路 (Fig. 7 及び Fig. 8) 14 に入力し、2 値化のしきい値として使用する。LUT の中身のデータは、種々の画像を用いて、上記した手順と同様の手順で、誤差等を求め、これを補間等してデータを埋めて作成する。

選ぶ画像は、誤検出しやすい場所が適していることは言うまでもないが、従来はこのような決め方がなく、本発明により決め方の手順が決まっただけでなく、きわめて論理的に決められるということが特徴である。

Fig. 7 及び Fig. 8 において、設計情報に基づいて得られる半導体ウエハ 4 上におけるチップ内の配列データ等の座標を、キーボード、ディスク等から構成された入力手段 15 で入力しておくことにより、CPU 16 は、入力された半導体ウエハ 4 上におけるチップ内の配列データ等の座標に基づいて、欠陥検査データを作成して記憶装置 17 に格納する。

この欠陥検査データは、ディスプレイ等の表示手段に表示して出力することもできるし、また外部への出力手段により外部へ出力することもできる。

また、このディスプレイ上に、階調変換する前の画像または画像データと階調変換後の画像または画像データとをそれぞれ表示することにより、または、階調変換後の画像または画像データを表示することにより、階調変換が正しくなされて検査が行われていることを、作業者が目視で確認することができる。

これらにより、きわめて高精度に画像を比較することができ、本発明で意図した目的がより高感度の実現できることになる。

なお、本実施例では明視野照明も用いた例を示したが、暗視野照明により得られた画像を対象にしてもよい。また欠陥の種類もショートやオープンなどの形状不良や、それ以外の異物も対象となる。

〔実施の形態 2〕

本発明に係るパターン検査方法および装置の第 2 の実施の形態を Fig. 24 に示す。ここでは、電子線により試料を走査して、電子線の照射によってウエハから発生する電子を検知し、その強度変化に基づいて走査部位の電子線像を得、電子線像

を用いてパターン検査を行う。前述の発明が解決しようとする課題に対して、本第2の実施の形態では、欠陥判定のしきい値を、パターンの位置ずれ、階調値の差異などを考慮して画素ごとに設定することで対処する。

本システムは、検出部101、画像取り出し部102、画像処理部103、システム全体を制御する全体制御部104からなる。

始めに、検出部101について述べる。

Fig. 24において、電子銃31を出た電子ビームは、磁界レンズ32、対物レンズ33を経て、試料面では画素サイズ程度のビーム径に絞られる。この際、グランド電極37、リターディング電極38によって、試料に負電位を引加し、対物レンズと試料間で電子ビームを減速することで低加速電圧領域での高分解能化を図る。電子線が照射されると、試料（ウエハ1）からは電子が発生する。偏向器34による電子線のX方向の繰り返し走査と、ステージ2による試料のY方向の連続的な移動に同期して試料から発生する電子を検出することで、試料の2次元の電子線像が得られる。試料から発生した電子は検出器35で捕らえられ、アンプ36で増幅される。

ここで、高速検査を可能にするために、電子ビームをX方向に繰り返し走査させる偏向器34としては、偏向速度の速い静電偏向器を用いることが、また、電子銃31としては、電子ビーム電流を大きくできるので照射時間が短くできる熱電界放射型電子銃を用いることが、また、検出器35には高速駆動が可能な半導体検出器を用いることが望ましい。

次に、画像取り出し部102について述べる。

アンプ36で増幅された信号は、AD変換器39によってデジタル信号に変換された後、前処理回路40において、暗レベル補正（ビーム・ブランキング期間中の特定数画素の階調値の平均を暗レベルとする）、電子ビーム電流の揺らぎ補正（ビーム電流を図示されていない対物絞りで検出し、信号をビーム電流で正規化する）、シェーディング補正（ビーム走査位置による光量変動を補正）を行った後、ガウシアンフィルタ、平均値フィルタ、あるいはエッジ強調フィルタなどによる

遅延回路 4 1 は信号を一定時間だけ遅延させるが、遅延時間を、例えばステージ 2 がチップピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 g0 と遅延されていない信号 f0 は隣り合うチップの同じ箇所での画像信号となり、前述したチップ比較検査となる。あるいは遅延時間を、ステージ 2 がメモリセルのピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 g0 と遅延されていない信号 f0 は隣り合うメモリセルの同じ箇所での画像信号となり、前述したセル比較検査となるわけである。

次に、画像処理部 103 における処理について述べる。

次に、明るさ一致フィルタ操作部における、画像間あかるさ不一致を最小にするフィルタ F 、 F' を求める。前述したように、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解いて(7)式、(8)式のように、 dx_0 、 dy_0 を求めるには種々の統計量 $\sum \sum x \times x$ を求める必要がある。統計量算出部44において、それら種々の統計量の算出を行い、サブCPU45において計算された $\sum \sum x \times x$ を用いて、(数7)、(数8)の演算を行って α 、 β を求める。

差分抽出回路 4 9 では、f1 と g1 の差画像 sub (x, y) を求める。式で表すと次のようになる。

.. (21)

しきい値演算回路 48 では、^{局所階調変換}遅延回路 46、47 を経た画像信号 f1、g1 および、 α 、 β を用いて、 $\text{sub}(x, y)$ の値に応じて欠陥候補か否かを判定する二つのしきい値 $\text{thH}(x, y)$ と $\text{thL}(x, y)$ を算出する。 $\text{thH}(x, y)$ は $\text{sub}(x, y)$ の上限を規定するしきい値であり、 $\text{thL}(x, y)$ は $\text{sub}(x, y)$ の下限を規定するしきい値である。しきい値演算回路 48 の構成を Fig. 25 に示す。演算の内容を式で表すと次のようになる。

$$\text{thH}(x, y) = A(x, y) + B(x, y) + C(x, y) \quad \dots (22)$$

$$\text{thL}(x, y) = A(x, y) - B(x, y) - C(x, y) \quad \dots (23)$$

ただし、

$$\begin{aligned} A(x, y) &= |dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha)| + |dy1(x, y) * \beta - dy2(x, y) * (-\beta)| \\ &= |dx1(x, y) + dx2(x, y)| * \alpha + |dy1(x, y) + dy2(x, y)| * \beta \quad \dots (24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(x, y) &= | |dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha)| + | |dy1(x, y) * \beta - dy2(x, y) * (-\beta)| | \\ &= | |dx1(x, y) + dx2(x, y)| * \alpha + | |dy1(x, y) + dy2(x, y)| * \beta | \quad \dots (25) \end{aligned}$$

$$C(x, y) = (\max1 + \max2) / 2 * \gamma + \epsilon \quad \dots (26)$$

ここで、 α 、 β は、0～0.5の実数、 γ は0以上の実数、 ϵ を0以上の整数

$$\left. \begin{aligned}
 dx1(x,y) &= f1(x+1,y) - f1(x,y) \\
 dx2(x,y) &= g1(x,y) - g1(x-1,y) \\
 dy1(x,y) &= f1(x,y+1) - f1(x,y) \\
 dy2(x,y) &= g1(x,y) - g1(x,y-1) \\
 max1 &= \max \{f1(x,y), f1(x+1,y), f1(x,y+1), f(x+1,y+1)\} \\
 max2 &= \max \{g1(x,y), g1(x-1,y), g1(x,y-1), g(x-1,y-1)\}
 \end{aligned} \right\} \dots (式27)$$

しきい値を算出する(式22)、(式23)の右辺の第1項 $A(x,y)$ は、位置ずれ検出部43で求めた α 、 β に対応してしきい値を補正するための項である。例えば(式27)で表される $dx1$ は、 $f1$ の階調値の x 方向の局所的な変化率とみなし、 $dx1(x,y) * \alpha$ は、位置が α ずれた時の $f1$ の階調値の変化の予測値といえることができる。よって、 $A(x,y)$ の第1項 $\{dx1(x,y) * \alpha - dx2(x,y) * (-\alpha)\}$ は、 x 方向に $f1$ の位置を α 、 $g1$ の位置を $-\alpha$ ずらした時に、 $f1$ と $g1$ の差画像の階調値がどのくらい変化するかを画素ごとに予測した値といえることができる。同様に第2項は y 方向について予測した値といえることができる。しきい値の第1項 $A(x,y)$ は、 α 、 β をキャンセルするための項である。

しきい値を算出する(式22)、(式23)の右辺の第2項 $B(x,y)$ は、パターンエッジの微小な位置ずれやパターン形状の微小な差異、パターン歪みを許容するための項である。 $A(x,y)$ を求める(式24)と $B(x,y)$ を求める(式25)を対比させれば明らかなように、 $B(x,y)$ は a 、 b による、差画像の階調値の変化予測の絶対値である。 $A(x,y)$ によって既知の位置ずれ(とみなす)がキャンセルされるとするならば、 $A(x,y)$ に $B(x,y)$ を加算するのは、位置の合った状態からさらに x 方向に a 、 y 方向に b だけ位置をずらす(とみなす)ことを意味している。つまり、 x 方向に a 、 y 方向に b の位置ずれを許容するのが $B(x,y)$ である。

また、 $A(x,y)$ から $B(x,y)$ を減ずるのは、位置の合った状態からさらに x 方向に $-a$ 、 y 方向に $-b$ だけ位置をずらすことを意味している。 x 方向に $-a$ 、 y 方向に $-b$ の位置ずれを許容するのが $-B(x,y)$ である。しきい値に上限、下限を設け

ることによって、 $\pm a a$ 、 $\pm b b$ の位置ずれを許容することになるわけである。そして、パラメータ $a a$ 、 $b b$ の値を適切な値に設定することによって、許容する位置ずれ量を自由にコントロールすることが可能である。

しきい値を算出する~~式(22)~~及び~~式(23)~~の第3項 $C(x, y)$ は、階調値の微小な差異を許容するための項である。 $C(x, y)$ の加算は、 $g1$ の階調値が $f1$ の階調値よりも $C(x, y)$ だけ大きいのを許容することを意味し、 $C(x, y)$ の減算は、 $g1$ の階調値が $f1$ の階調値よりも $C(x, y)$ だけ小さいのを許容することを意味する。ここでは、 $C(x, y)$ を、局所領域での階調値の代表値（ここでは \max 値）に比例定数 γ を掛けた値と、定数 ϵ との和としたが、この関数にこだわる必要はなく、階調値の変動の仕方が既知であれば、それに合った関数するのがよい。例えば、階調値の平方根に変動幅が比例すると分かっていたら、~~式(26)~~の代わりに、 $C(x, y) = (\max1 + \max2)^{1/2} \cdot \gamma + \epsilon$ とすべきである。 $B(x, y)$ と同様、パラメータ γ 、 ϵ によって、許容する階調値の差異を自由にコントロールすることが可能である。

欠陥判定回路50では、差分抽出回路49の出力 $\text{sub}(x, y)$ および、しきい値演算回路48の出力 $\text{thL}(x, y)$ 、 $\text{thH}(x, y)$ を用いて、

$$\text{thL}(x, y) \leq \text{sub}(x, y) \leq \text{thH}(x, y)$$

…~~式(28)~~

を満たせば、位置 (x, y) の画素は非欠陥候補、満たさなければ位置 (x, y) の画素は欠陥候補と判定する。欠陥判定回路50は、非欠陥候補画素は0、欠陥候補画素は1以上の値を持つ $\text{def}(x, y)$ を出力する。

特徴抽出回路50aでは、ノイズ除去処理（例えば、 $\text{def}(x, y)$ に対して縮小・膨張の処理を行う）によってノイズ的な出力を削除したあと、近隣の欠陥候補部を一つにまとめる欠陥候補部のマージ処理を行う。その後、一まとまりごとに、重心座標、XY投影長、面積などの特徴量を算出する。

全体制御部104では、欠陥部の座標を試料上の座標系に変換し、疑似欠陥の削除を行い、最終的に、試料上での位置と特徴量とからなる欠陥データをまとめる。

この欠陥データは、前記した実施の形態1と同様に、ディスプレイ上に表示することもできるし、出力手段により出力することもできる。

また、このディスプレイ上に、階調変換する前の画像または画像のデータと階調変換後の画像または画像のデータとをそれぞれ表示することにより、または、階調変換後の画像または画像のデータを表示することにより、階調変換が正しくなされて検査が行われていることを、作業者が目視で確認することができる。

本実施の形態によれば、小領域全体としての位置ずれや、個々のパターンエッジの微小な位置ずれや、階調値の微小な差異が許容されるため、正常部を欠陥と誤認識することがなくなる。また、パラメータ a 、 b 、 γ 、 ε によつて、位置ずれ、階調値の変動の許容量のコントロールを容易に行うことが可能となる。

〔実施の形態 3〕

本発明に係るパターン検査方法および装置の第3の実施の形態をFig. 26に示す。Fig. 26において、Fig. 7及びFig. 8と同様に、1はイメージセンサであり、被検査パターンである半導体ウエハ4からの反射光の明るさ、すなわち濃淡に応じた濃淡画像信号を出力するものであり、2はイメージセンサ1から得られる濃淡画像信号をデジタル画像信号9に変換するA/D変換器、3は濃淡画像信号を遅延させる遅延メモリ、4は被検査パターンのある半導体ウエハ、5は被検査パターンの半導体ウエハ4を載置するX方向とY方向とZ方向と θ 方向（回転）の移動するステージ、6は半導体ウエハ4に対する対物レンズ、7は被検査パターンの半導体ウエハ4を照明する照明光源、8は照明光を反射して対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に照射すると共に、半導体ウエハ4からの反射光を透過するハーフミラー、9は濃淡画像信号がA/D変換器で変換されたデジタル画像信号である。

このようにして、照明光源7からの照明光を反射させて対物レンズ6を通して半導体ウエハ4に対して、例えば明視野照明を施すように構成している。

また、3は、画像信号9を繰り返される1セルまたは複数セルピッチ分を記憶して遅延させる遅延メモリであってもよいし、画像信号9を繰り返される1チップまたは複数チップピッチ分記憶して遅延させる遅延メモリでもよい。

11はデジタル画像信号9及び遅延されたデジタル画像信号10を位置合わせするものであり、ここでは、画素単位で濃淡差が最小となる位置ずれ量を正規化相関により検出し、この位置ずれ量に基づき一方の画像をシフトして、2枚の画像を位置合わせするものである。なお、正規化したのは、位置合せすべき画像間の明るさの違いの影響を軽減するためである。

即ち、検出画像 $f(x, y)$ に対して記憶画像 $g(x, y)$ を移動し、相関値が最大となる位置を下式により求める。

$$R(\Delta x, \Delta y) = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \frac{\{f(x, y) - \bar{f}\} \{g(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{g}(\Delta x, \Delta y)\}}{\sqrt{f_{\sigma} \cdot g_{\sigma}(\Delta x, \Delta y)}} \quad \dots (29)$$

$$\bar{f} = \frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} f(x, y) \quad \dots (30)$$

$$\bar{g}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} g(x + \Delta x, y + \Delta y) \quad \dots (31)$$

$$f_{\sigma} = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{f(x, y) - \bar{f}\}^2 \quad \dots (32)$$

$$g_{\sigma}(\Delta x, \Delta y) = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \{g(x + \Delta x, y + \Delta y) - \bar{g}(\Delta x, \Delta y)\}^2 \quad \dots (33)$$

ここで、画像はイメージセンサにより連続的に検出されるが、画像を後述するライン単位ごとに分割し、この単位で位置合わせを行う。上式では、検出画像は $X \times$

Y画素の寸法である。

なお、図示していないが、画像の位置ずれを求める上記した正規化相関は、すべての画像を相手にして行う必要はなく、例えば画像をイメージセンサの長手方向にK分割し、分割した各小画像 (X/K×Y画素の大きさ) のうち、情報がある小画像について、行ってもよい。

情報があるかどうかの判断は、例えば各小画像を微分し、エッジの有無を検出し、エッジが多い小画像を選ぶ。たとえば、イメージセンサがマルチタップ構成の並列出力可能なリニアイメージセンサの場合、各タップ出力画像が、小画像に相当する。この考え方は、並列出力される画像は、位置ずれが等しいということに基づいている。また、ここで用いるイメージセンサは、時間遅延積分型のTDI CCDイメージセンサであつてもよい。

13は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号の階調を変換する階調変換部である。ここでは、個々の画素毎にゲインとオフセットにより線形変換を実施して、明るさを一致させている。

$$\sum_{x=dx}^{\Delta x} \sum_{y=dy}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy) \cdot \{f(x, y) - a(x, y) \cdot g(x, y) - b(x, y)\}^2 \quad \cdots (34)$$

$$W(x, y, dx, dy) = \max[1 - (f(x, y) - g(x + dx, y + dy))^2 / D^2, 0] \quad \cdots (35)$$

$$a(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=dx}^{\Delta x} \sum_{y=dy}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy) \cdot f(x, y) \cdot g(x, y) \right\} \cdot \frac{1}{\sum_{x=dx}^{\Delta x} \sum_{y=dy}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy)}}{\left\{ \sum_{x=dx}^{\Delta x} \sum_{y=dy}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy) \cdot g(x, y) \right\} \cdot \frac{1}{\sum_{x=dx}^{\Delta x} \sum_{y=dy}^{\Delta y} W(x, y, dx, dy)}} \quad \cdots (36)$$

$$b(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (W(x, y, dx, dy) \cdot f(x, y)) - a(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (W(x, y, dx, dy) \cdot g(x, y)) \right\}}{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} W(x, y, dx, dy)} \quad \dots (37)$$

1 2は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号を変換する明るさ変換部である。ここでは、画像全体に一括したフィルタ操作を実施して、明るさを一致させている。

そして、得られた画像信号を比較部 1 4において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。

2 3は、比較する2枚の画像を入力する画像入力部であり、この画像より、散布図作成部 2 4において散布図を求める。散布図は、縦軸と横軸が、2枚の画像の明るさを示している。2 5は、得られた散布図を表示する表示部である。1 5は、入力手段であるが、例えば、差画像の絶対値を2値化するしきい値を入力し、入力したしきい値の線分を散布図上にプロットする。この散布図を見れば、入力したしきい値の妥当性が判断しやすい。また、表示された散布図を参照して、画像に適したしきい値を決めることもできる。散布図の1例をFig. 3 3に示す。

$W(x, y, dx, dy) = 1$ のときは以下のように示される。

$$a(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y) \cdot g(x, y)) - \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y)) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y)) \right\}}{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) \cdot g(x, y)) - \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y)) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y)) \right\}} \quad \dots (38)$$

$$b(x, y) = \frac{\left\{ \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y)) - a(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y)) \right\}}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)} \quad \dots (39)$$

また、散布図において、プロットしたデータ群に線分を最小2乗法等であてはめ、この線分からのずれである誤差を求めることができる。

直線を、 $Y = m \cdot f(x, y) + n$ とすると、最小2乗法 (m, n) は以下の式にて算出)により直線近似を行う。

$$m = \frac{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (f(x, y) \cdot g(x, y)) - \frac{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x, y) \cdot \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} g(x, y)}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)}}{\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x, y)^2 - \frac{\left(\sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} f(x, y) \right)^2}{(2dx+1) \cdot (2dy+1)}} \quad \dots (40)$$

$$n = \overline{g(x, y)} - m \cdot \overline{f(x, y)} \quad \dots (41)$$

直線からの誤差は、例えば下式で求められる。

$$V_r = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 1} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (m \cdot f(x, y) + n - \overline{m \cdot f(x, y) + n})^2 \quad \dots (42)$$

$$= \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 1} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (m \cdot (f(x, y) - \overline{f(x, y)}))^2$$

$$V_e = \frac{1}{(2dx+1) \cdot (2dy+1) - 2} \sum_{x=-dx}^{dx} \sum_{y=-dy}^{dy} (g(x, y) - (m \cdot f(x, y) + n))^2 \quad \dots (43)$$

この誤差に基づき、しきい値を求め、求めたしきい値を散布図上にプロットできる。たとえば、しきい値は、この V_e の平方根に比例した値とする。Fig. 27に、これを実現する構成例を示す。

26は統計量算出部を示し、上記した線分の当てはめと、線分からの誤差を算出するものである。27は、この得られた統計量よりしきい値を算出するしきい値算出部である。もちろん、しきい値をユーザ入力可能な構成にしても問題ない。

散布図に使用する画像は、比較する2枚の画像であり、例えば画素単位的位置合せ後の画像である。画像処理の各段階で、2枚の画像を画像入力部23に入力可能である。

Fig. 28及びFig. 29は、Fig. 26に示した方式に基づき、2枚の画像を処理した例を示したものである。対象は、ライン&スペースのパターンが、画像の右下部に検出されたものである。左上は、パターンがない領域である。各処理途中での画像のヒストグラム、差の画像の統計量も併せて示している。ヒストグラムからわかるように、最初の段階では、2枚の画像の明るさは一致していない。

まず、これを画像を正規化相関により相関値を求め、この相関値が高い位置を求めることにより、画素の単位で位置合せする。次に、位置合せされた2枚の画像について局所階調変換である局所的明るさ補正を実施する。そして、最後に2枚の画像の明るさを一致させるフィルタリングを施し、画像の明るさの一致度をさらに向上させている。

Figs. 30 ~ ³²~~30~~は、各処理段階での画像の散布図を示している。画素の単位で位置合せされた段階では、2枚の画像の明るさが一致していないため、散布図において斜め45度の直線にのらず、直線からのばらつきがみられる。しかし、本発明による局所階調変換である局所的明るさ補正とフィルタリングの処理の後では、散布図が直線に近いところに分布しており、2枚の画像の明るさをそろえる意味で効果があることがわかる。なお、傾きと切片とあるのは、散布図データにフィッティングした線分の傾きと切片である。

2枚の画像の一致度の尺度である傾きは、最初0.705であったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、0.986となり、さらにフィルタリングの処理の後で0.991となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。

さらに、2枚の画像の一致度を表わす、前述の V_e の値も、最初は40.02あったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、8.598となり、さらにフィルタリングの処理の後で7.477となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。また、 V_e の値の画像は、 V_e の値を画像全体ではなく、例えば各画素の周りを含む7×7画素の各領域毎に、直線近似して誤差 V_e を求めたものを画像として表示したものを、Fig. 30 ~ Fig. 32は示している。この画像を見れば、どの部分で明るさ合せ誤差が大きいかかわかる。

また、Fig. 2 1～Fig. 2 3は、画像の局所コントラストに関する散布図を示したものである。ここで、コントラストは、各画素の周囲、例えば 3×3 画素について最大値と最小値を検出し、最大値－最小値を示す。局所コントラストも、本発明による局所階調変換とフィルタリングの処理の後では、散布図が直線に近いところに分布していることから、これらをそろえる意味もあると考えられる。傾きと切片等は、前述の図と同様の意味をもつ。なお、 V_e の値の画像は、局所コントラスト画像において、各画素の周りを含む 7×7 画素の領域に関して直線近似して V_e を求めたものである。

Fig. 3 3～Fig. 3 6は、散布図としきい値の例を示したものである。Fig. 3 3は、2枚の画像が異なるため、これを誤検出しないように、しきい値が大きく設定されている。Fig. 3 4は、本発明による局所階調変換である明るさ補正後の散布図であり、2枚の画像の一致度が高いため、設定されたしきい値が小さい。Fig. 3 5は、明るさ合わせ後の散布図であり、さらにしきい値が小さくなっている。Fig. 3 6は、片方の画像を、各画素ではなく画像の単位で、線形の階調変換を施したもので、散布図上ではしきい値がオフセットをもっている。

Fig. 3 7は、画像単位の階調変換を区分的な線形変換とした例を示したものである。この例では、2つの区分に分けている。

このように、散布図としきい値は、欠陥検出感度等を決める基準或いは、設定したしきい値の妥当性確認など、はばひろく活用できるものである。

これらの散布図作成、表示、或いは散布図のデータを用いたしきい値算出等は、検査開始前に、画像を検出し、この画像を用いて実施することも可能である。

さらに、画像検出に同期して、散布図作成、しきい値設定等を画像毎に行えば、さらに高感度な検査が実現できることは、明白であろう。画像の検出は、各処理が終わった段階で行えばよい。なお、上記したように、画像処理はパイプライン型の処理で実現しているが、そうでない構成のものでも適用できるものである。

〔実施の形態 4〕

本発明に係わる被検査パターンの欠陥検査方法および装置の第4の実施の形態

を、Fig. 3 8に示す。

Fig. 3 8に示す構成は、Fig. 2 6における画像明るさ一致フィルタ 1 2を除いて、Fig. 2 6の構成と同じであり、Fig. 2 6と同じ符号を付してある。

Fig. 3 8に示す構成の動作は、イメージセンサ 1 で被検査パターンである半導体ウエハ 4 からの反射光の明るさに基く濃淡画像信号を出力して、局所階調変換 1 3 で個々の画素毎にゲインとオフセットにより線型変換を実施して、明るさを一致させる処理までは、上記した第 3 の実施の形態と同じである。

そして、本実施の形態では、局所階調変換 1 3 で得られた画像信号を、比較部 1 4 において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。検出された画像信号は、パイプライン型の画像処理により、順次一定の処理が施され、最後に欠陥とその特徴が出力されるものである。

次に上記構成の検査装置の動作について説明する。

Fig. 3 8において、対物レンズ 6 で収束させた照明光で、ステージ 5 を X 方向（例えば、1 次元イメージセンサ 1 のセンサ面の各センサチップの配列方向に直角な方向）に走査して被検査パターンの半導体ウエハ 4 の対象領域について等速度で移動させつつ、イメージセンサ 1 により前記半導体ウエハ 4 上に形成された被検査パターン、すなわちチップ 2 0 内のメモリマツト部 2 1 および周辺回路部 2 2 の明るさ情報（濃淡画像信号）を検出する。

1 列分の移動が終わると、Y 方向（X 方向に直角な方向）に高速移動して隣の列に移り、位置決めをする。すなわち、イメージセンサ 1 により前記半導体ウエハ 4 上に形成された被検査パターンの画像を得ながら行う等速移動と隣の列へ移動する高速移動とを繰り返して検査を行うものである。もちろん、ステップ&リピート型の検査でも差し支えない。

そして、A/D変換器 2 は、イメージセンサ 1 の出力（濃淡画像信号）をデジタル画像信号 9 に変換する。このデジタル画像信号 9 は 1 0 ビット構成である。勿論、6 ビット程度あれば、画像処理する上では特に問題ないが、微小欠陥を検出するにはある程度のビット数が必要であるので、多少の余裕を見て、1 0 ビット構

上記画像信号の散布図より、26において 散布図上の頻度、或いは散布図上の位置、或いは散布図上の相対的な距離の関数、或いはルックアップテーブルを参照した情報を算出する。算出した情報を、欠陥信頼度として、即ち不一致が欠陥であ

ること示す尺度として、不一致情報に添付し、17に格納する。

ここで、散布図において頻度が大きいことは、その点が欠陥らしくないことを表している。例えば、Fig. 39において、散布図上の黒いデータに対応する画素は、頻度が高く、これらは正常部である確率が高い。一方、白いデータに対応する画素は、頻度が小さくその明るさが小数しかないことを表しており、欠陥である確立が高い。このように、頻度情報は欠陥の確からしさを表す重要なパラメータであると言える。同様に、散布図上の位置については、比較する2枚の画像が同じ明るさならば、傾き45度の直線上に各点が分布するため、散布図上の絶対位置も重要な欠陥の確からしさのパラメータになる。Fig. 39において、傾き45度の直線（図示していない）から離れているデータに対応する画素は、頻度が小さいこともあり、欠陥である可能性が高いことが分かる。

散布図上の相対的な距離は、2つの比較する画像において、各点の定めた周囲の複数画素を用いて、重みづけされた2乗誤差が最小になる直線を求め、これからの距離に対応するものである。これをFig. 40A~~(a)~~、~~(b)~~に示す。

Fig. 40A~~(a)~~に示すように、散布図において、各画素を中心とするエリアを定め、このエリア内のデータに対して近似直線を求める。または、頻度が欠陥の確からしさを表すパラメータであるという事実を用いて、2つの比較する画像において、頻度が一定値以上の各点に対し、定めた周囲の複数画素を用いて、重みづけされた2乗誤差が最小になる直線を求める。エリアのサイズは散布図の頻度に応じてローカルに可変にする。可変する方法は、頻度を入力してルックアップテーブルを参照してエリアサイズを出力する方式が柔軟性があり、望ましい。

このようにして得られた近似直線からの距離をFig. 40B~~(a)~~に示すようにして求め、この距離を欠陥の確からしさと見なして出力或いは表示するものである。この距離が小さいほど、正常部に近く、大きいほど欠陥に近い。

Fig. 40B~~(a)~~において、近似した直線から離れるに従い、頻度が小さくなっており、欠陥の確度が高くなっていることがわかる。なお、頻度が一定値以上の各点とは、例えば、頻度が1以下の点は、欠陥の確度が高いとして、直線近似の対象か

ら除外するものである。Fig. 3 8における局所階調変換部 1 2 では、Figs. 4 0^{A, 40B}に示した方法により、各画素毎に近似直線を求め、近似直線に基づいて階調変換を実施してもよい。

また、直線からの画像全体のばらつきを、第 3 の実施の形態で示した^式(数 4 2)と(数 4 3)とにより求めることができる。

この情報は、画像全体の一致度の尺度として使用可能なものである。

このように、散布図により得られる情報を用いて、検査装置が出力する不一致情報の確からしさを判断できる。

2 5 は、得られた散布図を、単独で、または他の情報とともに表示する表示部である。1 5 は、しきい値等の入力手段であるが、例えば、差画像の絶対値を 2 値化するしきい値を入力し、入力したしきい値の線分を散布図上にプロットする。

この散布図を見れば、入力したしきい値の妥当性が判断しやすい。

また、表示された散布図の情報を参照して、画像に適したしきい値を決めることもできる。即ち、しきい値を、上記した欠陥の確からしさにより決めることにより、より高信頼度に欠陥検出ができる。例えば、各画素において適応的にしきい値を決定するものとし、散布図の頻度に応じてしきい値を決める。頻度としきい値の換算は、Fig. 8 に示すように、ルックアップテーブル(LUT)を用いて実行する。ルックアップテーブルの中身、即ち変換にの仕方は検査に先立ち決めておくものである。

なお、Fig. 3 8 において、散布図に使用する画像は、比較する 2 枚の画像であり、例えば画素単位的位置合せ後の画像であるが、画像処理の各段階で、2 枚の画像を画像入力部 2 3 に入力可能である。

Fig. 4 2 は、Fig. 3 8 に示した方式に基づき、2 枚の画像を処理した例を示したものである。対象は、CMP (ケミカルメカニカル) などの平坦化処理された被検査パターンであり、ライン&スペースのパターン (多数のライン状のパターンが、一定の間隔で並んでいるパターン) が、画像の右下部に検出されたものである。左上は、パターンがない領域である。各処理途中での画像のヒストグラムも併せて示

している。ヒストグラムからわかるように、最初の段階では、2枚の画像の明るさは一致していない。まず、これを画像を正規化相関により相関値を求め、この相関値が高い位置を求めることにより、画素の単位で位置合せする。次に、位置合せされた2枚の画像について、局所階調変換である局所的明るさ補正を実施する。

~~Fig. 43~~ ^{Fig. 43A, 43B}は、画像の散布図を示している。画素の単位で位置合せされた段階では、2枚の画像の明るさが一致していないため、散布図において斜め45度の直線にのらず、直線からのばらつきがみられる。しかし、本発明による局所階調変換の処理（数(34)~(37)に基づく方式）の後では、散布図が直線に近いところに分布しており、2枚の画像の明るさをそろえる意味で効果があることがわかる。なお、傾きと切片とあるのは、散布図データにフィッティングした線分の傾きと切片である。

本発明によれば、2枚の画像の一致度の尺度である傾きは、最初0.705であったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、0.986となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。さらに、2枚の画像の一致度を表わす、前述の V_e の値も、最初は40.02であったものが、局所階調変換である局所的明るさ補正後に、8.598となり、明るさの一致度が向上していることがわかる。

これらは、比較する画像単位で画像全体の数値を算出したものであるが、Fig. 40に示した方式では、階調変換するローカルサイズ毎に、上記した V_e 等を求めてもよい。

~~Fig. 43~~ ^{Fig. 43A, 43B}の例では、局所的明るさ補正後の散布図を用いて、上記した手順に従い、不一致に、欠陥の確からしさの情報を付与する。散布図において、周囲に分散して分布する画素は、欠陥の確度が高い。しきい値は、分布したデータを挟むように、傾き45度の直線を用いて設定できる。勿論、画素の単位で位置合せされた段階でも、その散布図より、欠陥の確からしさの情報を、同様に抽出可能である。ただし、しきい値はこの場合、分布したデータを挟むように決めるため、高感度な設定はできない。

従って、しきい値の決定は、局所的明るさ補正後の散布図を用いることが、より望ましいと言えよう。

これらの散布図作成、表示、或いは散布図のデータを用いたしきい値算出等は、画像検出に同期して、画像毎に、或いは画像の各画素について行えば、高感度な検査が実現できる。なお、上記したように、画像処理はパイプライン型の処理で実現しているが、そうでない構成のものでも適用できるものである。

欠陥の出力リストの例を、Fig. 4 4A ~~4A~~ ~ ~~4C~~ に示す。階調変換された画像同士を比較部 14 において比較し、不一致として出力したものである。欠陥番号、座標、長さ、面積といった欠陥の特徴を表す数値以外に、欠陥信頼度を付加した例である。ここで、欠陥番号は、被検査チップを走査した順に付けた番号である。欠陥座標は、被検査チップの例えばアライメント等マークや原点を基準にして設けた座標系における欠陥の検出された位置である。欠陥の長さは、X 軸と Y 軸に沿う欠陥部の長さである。勿論、長軸、短軸に沿った長さを算出してもよい。

これらの単位は、必要とする精度に依存するが、例えばミクロンである。欠陥信頼度は、上述した散布図から得られる情報である。例えば、欠陥部の画素の散布図上の頻度、近似直線からの距離などを示している。

Fig. 4 4A ~~4A~~ は、散布図における欠陥部の頻度に基づくものである。頻度が低いものほど、欠陥の信頼度値が高い。Fig. 4 4B ~~4B~~ は、散布図における欠陥部の近似直線からの距離に基づくものである。距離が長いものほど、欠陥の信頼度値が高い。Fig. 4 4C ~~4C~~ は、散布図における欠陥部の位置に基づくものである。傾き 45 度の直線から離れるほど、欠陥の信頼度値が高い。勿論、欠陥信頼度として、欠陥部の画素の散布図上の頻度、近似直線からの距離などを複数有してもかまわない。なお、欠陥が複数画素を有する場合は、各画素の頻度の平均値や最大値、或いはメジアンなどの統計量を算出する。このようにして、不一致情報に信頼度が付加することにより、欠陥の致命性等の算出に利用できる。

ここで、欠陥の致命性とは、欠陥が被検査パターンに与える致命性を示しており、例えば欠陥の大きさと存在する座標（領域）により決まるものである。パターンの寸法が小さい領域ほど、同じ欠陥の大きさならば致命性は高いものとなる。

このような致命性判断に信頼度を併せて使用することにより、致命性の判断がより

精度高くできるようになる。これにより、被検査パターンのプロセス診断がよりの確にできるようになる。

次に、画像の大きさに関して補足説明する。画像の大きさ、即ち画像の位置合せ（マッチング）の単位は、次の方法で決定できる。まず、比較する2枚の画像の位置ずれ量を細かく分割した単位で求める。これをFig. 4 5に示す。X方向とY方向に分離して検出している。この位置ずれデータをスペクトル分析すると、Fig. 4 6のような波形が得られる。スペクトル分析図では、縦軸はスペクトル密度、横軸は周波数を示す。

この図において、最も高い周波数であり、かつ密度の高い周波数に着目する。この図の場合、0.011となる。この周波数は、例えばステージの走行特性等の装置特性、振動特性により決まるものである。スペクトル分析結果は、2枚の画像の位置ずれがこの周波数で繰り返していることを表わしており、この逆数である88ラインを画像の単位、即ちマッチングの単位とすると、画像内に位置ずれのピークtoピークが現れ、位置ずれ量が大きい場合精度の高い位置合せが困難となる。しかし、画像の単位をこの周波数の逆数の $1/4$ にすると、ピークの位置ずれの $1/2$ 以下に位置ずれ量を低減することができる。さらに、周波数の逆数の $1/8$ にすると、ピークの位置ずれの $1/4$ 以下に位置ずれ量を低減することができる。

このように、画像の単位を細かくすればするほど、画像の位置合せの精度を向上できるはずであるが、画像内に含まれるべきパターンの情報が少なくなるので、結果としては画像の位置合せ精度が上がらない。従って、スペクトル分析結果からは、必要とする位置合せ精度をもとに、画像の大きさに制限がなされ、パターン情報の確保の観点からは、比較するパターンに応じてであるがパターンのスペース情報（パターンが形成されていない領域に関する情報）をもとに画像の大きさの下限が決定できる。なお、上記した説明では、最も高い周波数に着目したが、位置ずれの量に着目し、その大きなものに相当する周波数に着目しても効果的である。

なお、上記は、x、y成分に分離して上記を行うこともできるし、蓄積型のリニアイメージセンサの場合のように、ステージの進行方向のみに着目して実施しても

よい。

なお、階調変換する際の画像のサイズは、~~(数34) ~ (数37)~~ ^{式(34) ~ (37)}に基づく方式では上記した画像のサイズと一致させてもよいし、Fig. 40を用いて説明した方式と同様、ローカルにサイズを決定してもよいものである。

上記発明の実施の形態によれば、場所によるパターンの明るさの違いに影響されることなく、欠陥を高感度に検出することができる。また、メモリマツト部21など暗い領域において、明るさが大きくばらつくパターンにおいても高感度に検査できる。これは、メモリ素子に限らず、マイコンやASICなどのロジック素子にも同様な効果が期待できる。従って、従来に比べ、信頼性の高い検査を実現することができる。

なお、上記例では照明として、明視野照明を採用したが、これに限るものでなく、暗視野照明、輪帯照明などの顕微鏡照明として使用できるものならば、差し支えない。照明波長に依存するものでもない。また、電子線を試料に照射して、試料から発生する二次電子を検出することにより得られる試料表面の二次電子画像を用いて検査を行う場合にも、適用できることは言うまでもない。また、これらの照明または照射の条件を種々変えて、複数回検査し、これら複数回の検査結果の論理和を取って最終結果としても差し支えない。或いは、論理積をとって確実に欠陥として識別し、例えばこの欠陥分布や個数によってプロセス診断してもよい。さらに、検出器としてはリニアイメージセンサに限るものでなく、TVカメラにより検出した画像にも適用可能なものである。さらに、欠陥の種類もショートやオープンなどの形状不良や、それ以外の異物も対象となる。

また、上記した実施例によると、さらに有効な解析処理が可能になる。

信頼度が付加された検査データを用いることにより、欠陥のレビューがより効率的に実施可能になる。例えば、^{Fig. 44A ~ 44C} Fig. 44に示した欠陥リストにおいて、欠陥の信頼度に応じて欠陥番号を並び替える(ソーティング)。例えば、欠陥の確からしさが大きい順に欠陥を並べ替える。このようにすると、信頼度が高い順に、欠陥のレビュー、確認作業ができる。検査装置が出力する誤検出は皆無にできるのは勿論、欠陥

か正常部かの境界上にある不一致も、取捨選択できる。さらに、これに欠陥の座標や大きさによる情報も加えて欠陥の並べ替えをすれば、より効率的な欠陥のレビュー、確認ができる。

即ち、信頼度を付加することにより、致命性判断が的確にでき、この致命性を用いて、より高精度、効率的な欠陥のレビュー、確認ができる。或いは、しきい値を設けて信頼度、或いは致命性がしきい値より高い欠陥のみをレビューしたりできる。さらに、欠陥分類においても、同様な効果が期待できる。また、歩留り診断、予測等においても、このような扱う上で問題とならない、真の欠陥のみを用いて行うことが可能になる。このようにして、不一致部の目視確認を行うレビュー作業の負荷軽減、歩留り予測等の信頼性向上を図ることができる。

以上、本発明に係る実施の形態について、主に光学顕微鏡を用いた比較検査方法について述べたが、他の走査型電子顕微鏡や赤外線、X線により得られた画像検出に用いた場合にも、同様に有効であることはいうまでもない。また、上記実施例は、画像の比較に基づく方式を用いて説明したが、欠陥の信頼度を欠陥情報に付与することは、異物検査装置のように散乱光が大きな箇所を検出するような比較に基づかない方式の装置にも、適用可能なものである。

上記発明の実施の形態1～4によれば、場所によるパターンの明るさの違いに影響されることなく、欠陥を高感度に検出することができる。また、メモリマップ部21など暗い領域において、明るさが大きくばらつくパターンにおいても高感度に検査できる。また、装置が有する振動特性等に影響を受けることなく、高精度な画像のマッチングが実現できる。従って、従来に比べ、信頼性の高い検査を実現することができる。

本願の優先権の基礎出願である日本国特許出願
110303/1998 と 264275/1998 の明細書および図面
の内容は本願の内容に組み込まれる。

C l a i m s

1. パターンを検査する方法であって、以下のステップを有する：

基板上に形成された第1のパターンを撮像して第1の画像を得るステップ、
該第1の画像を記憶するステップ、

基板上に前記第1のパターンと本来同一形状になるように形成された第2のパターンを撮像して第2の画像を得るステップ、

前記記憶した第1の画像または前記第2の画像のうちの少なくとも一方の画像を補正して前記第1の画像と前記第2の画像との明るさを合わせるステップ、および、

該明るさを合わせた第1の画像と第2の画像とを比較して前記パターンの欠陥を検出するステップ。

2. 請求項1記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第1の画像と前記第2の画像との明るさを合わせることを、ゲインとオフセットを持つ線形変換により、前記第1の画像と前記第2の画像との明るさがほぼ同じになるように変換することにより行う。

3. 請求項1記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第1の画像と前記第2の画像との明るさを合わせることを、前記第1の画像と前記第2の画像との少なくとも何れか一方の画像を、局所的に階調変換することにより行う。

4. 請求項1記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記基板の表面は光学的に透明な膜で覆われており、該光学的に透明な膜の表面が、平坦化加工されている。

5. 請求項1記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第1の組の撮像と前記第2の組の撮像とを、それぞれ光学的に行う。

6. 請求項1記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第1の組の撮像と前記第2の組の撮像とを、それぞれ電子線を用いて行う。

7. パターンを検査する方法であって、以下のステップを有する：

基板上に形成された第1のパターンを撮像して第1の画像を得るステップ、

該第 1 の画像を記憶するステップ、

基板上に前記第 1 のパターンと本来同一形状になるように形成された第 2 のパターンを撮像して第 2 の画像を得るステップ、

前記記憶した第 1 の画像と前記第 2 の画像との少なくとも一方の画像を補正してから前記第 1 の画像と前記第 2 の画像とを比較して欠陥を検出するとともに該検出した欠陥の特徴を得るステップ、および

該検出した欠陥の特徴に関する情報を画面上に表示するステップ。

8. パターンを検査する方法であって、以下のステップを有する：

基板上に形成された第 1 のパターンを撮像して得た第 1 の画像と、前記基板上に前記第 1 のパターンと本来同一形状になるように形成された第 2 のパターンを撮像して得た第 2 の画像とを比較して欠陥候補を抽出し該抽出した欠陥候補の欠陥の確からしさに関する情報を得るステップ、

該抽出した欠陥候補から真の欠陥を検出するステップと、

該検出した真の欠陥に関する情報を出力するステップ。

9. 請求項 8 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記欠陥の確からしさに関する情報は、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像とを比較して得た該第 1 の画像と前記第 2 の画像との不一致の度合いと、該不一致の度合いの信頼度に関する情報である。

10. 請求項 8 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記欠陥の確からしさに関する情報は、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像のそれぞれの明るさ、或いは局所的なコントラスト、或いは局所的な平均値の少なくとも何れか一つに基いて求めた情報である。

11. 請求項 8 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記欠陥候補を検出するステップは、第 1 のパターンを撮像して得た第 1 の画像を記憶するステップと、該記憶した第 1 の画像と前記第 2 のパターンを撮像して得た第 2 の画像との位置合わせをするステップと、該位置合わせをした前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさを補正するステップと、該明るさを補正した前記第 1 の画像と前記第 2

の画像とを比較して欠陥候補を含む欠陥を検出するステップとを含む。

1 2. 請求項 1 1 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との位置合わせを、画素の単位で行う。

1 3. 請求項 8 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記基板は光学的に透明な膜で覆われた半導体ウェハであり、該光学的に透明な膜の表面が、平坦化加工されている。

1 4. 請求項 8 記載のパターンの欠陥を検査する方法であって、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさの補正を、局所ごとに行う。

1 5. パターンの欠陥を検査する装置であって、以下の構成を備える：

基板上に形成された第 1 の被検査パターンと該第 1 のパターンと本来同一形状になるように形成された第 2 の被検査パターンとを撮像して前記第 1 の被検査パターンの第 1 の画像と前記第 2 の被検査パターンの第 2 の画像とを得る撮像手段、
該撮像手段で撮像した前記第 1 の画像を記憶する記憶手段、

該記憶手段に記憶した第 1 の画像と前記撮像手段で撮像した第 2 の画像との少なくとも何れか一方の明るさを変換する明るさ変換手段と、

該明るさ変換手段により少なくとも何れか一方の明るさが変換された前記第 1 の画像と第 2 の画像とを比較して前記パターンの欠陥を検出する欠陥検出手段、および

該欠陥検出手段で検出した前記パターンの欠陥に関する情報を出力する出力手段。

1 6. 請求項 1 5 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記明るさ変換手段は、前記記憶手段に記憶した第 1 の画像と前記撮像手段で撮像した第 2 の画像との少なくとも何れか一方を、局所的に階調変換する。

1 7. 請求項 1 5 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記明るさ変換手段は、前記比較する第 1 の画像と第 2 の画像との明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換する。

1 8. 請求項 1 5 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記撮像手段は

、前記第 1 のパターンと前記第 2 のパターンとを、光学的に撮像する。

19. 請求項 15 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記撮像手段は、前記第 1 のパターンと前記第 2 のパターンとを、電子線を用いて撮像する。

20. 請求項 15 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記出力手段は、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との明るさ、或いは局所的なコントラスト、或いは局所的な平均値に関する情報を、画面上に表示する。

21. 請求項 15 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との位置ずれを画素単位で補正する位置ずれ補正手段を更に備え、前記明るさ変換手段は該位置ずれ補正手段で画素単位で位置ずれを補正した前記第 1 の画像と前記第 2 の画像との少なくとも何れか一方に対して、その明るさを変換する。

22. 基板上に形成された本来同一形状となるべき複数のパターンの欠陥を検査する装置であって、以下の構成を備える：

前記基板を載置して X Y 平面内で移動可能なテーブル手段、

該テーブル手段に載置された前記基板の前記パターンを撮像する撮像手段、

前記テーブル手段で前記載置した基板を連続的に移動させているときに前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像を処理して前記パターンの欠陥の候補を抽出する欠陥候補抽出手段、および、

該欠陥候補抽出手段で抽出した前記パターンの欠陥候補から真の欠陥を検出する欠陥検出手段、

該欠陥検出手段で検出した欠陥に関する情報を出力する出力手段。

23. 請求項 22 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記欠陥候補抽出手段は、前記画像の明るさ、或いは局所的なコントラスト、或いは局所的な平均値の少なくとも何れか一つに基いて、前記抽出した欠陥の確からしさに関する情報を更に求める。

24. 請求項 22 記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記撮像手段で撮像した前記パターンの画像を記憶する記憶手段と、該記憶手段に記憶した前記パ

ターンの画像と前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像との位置を合わせる位置合わせ手段と、該位置合わせ手段で位置を合わせた前記記憶手段に記憶した前記パターンの画像と前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像との階調を補正する階調補正手段とを更に備え、前記欠陥候補抽出手段は、前記階調補正手段で階調が補正された前記記憶手段に記憶した前記パターンの画像と前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像とを用いて前記パターンの欠陥の候補を抽出するとともに該欠陥の候補の確からしさに関する情報を求める。

25. 請求項22記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記位置合わせ手段は、前記記憶手段に記憶した前記パターンの画像と前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像とを細分化して該細分化した各小画像ごとに位置合わせをする。

26. 請求項24に記載の装置において、前記階調補正手段は、前記記憶手段に記憶した前記パターンの画像と前記撮像手段で撮像して得た前記パターンの画像との階調を、局所ごとに補正する。

27. パターンの欠陥を検査する装置であって、以下の構成を備える：

基板上に形成された第1の被検査パターンと該第1のパターンと本来同一形状になるように形成された第2の被検査パターンとを撮像して前記第1の被検査パターンの第1の画像と前記第2の被検査パターンの第2の画像とを得る撮像手段、
該撮像手段で撮像した前記第1の画像を記憶する記憶手段、

前記第2の画像と前記記憶手段に記憶した前記第1の画像との少なくとも一方の画像を補正してから前記第1の画像と前記第2の画像とを比較して欠陥を検出するとともに該検出した欠陥に関する情報を得る欠陥検出手段、および

該欠陥検出手段で検出した欠陥と該欠陥に関する情報とを画面上に表示する表示手段。

28. 請求項27記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記欠陥検出手段は前記第1の画像と前記第2の画像との少なくとも一方の画像の明るさを補正する明るさ補正部を有し、該明るさ補正部で少なくとも一方の画像の明るさを補正した前記第1の画像と前記第2の画像とを比較して欠陥を検出する。

29. 請求項27記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記撮像手段は、前記第1のパターンと前記第2のパターンとを、光学的に撮像する。

30. 請求項27記載のパターンの欠陥を検査する装置であって、前記撮像手段は、前記第1のパターンと前記第2のパターンとを、電子線を用いて撮像する。

09294137-042039
650240-2E16260

Abstract of the Disclosure

半導体ウエハ上に形成されたパターンの膜厚の違いによって生じる明るさむらの影響を受けることなく、パターンの微小な欠陥を高感度に検出するようにするために、基板上に本来同一となるように形成された複数個の組のパターンの欠陥を検査する方法において、第1の被検査パターンを検出してこの第1の被検査パターンの第1の画像を得、この第1の画像を記憶し、第2の被検査パターンを検出してこの第2の被検査パターンの第2の画像を得、記憶した第1の画像と第2の画像との明るさを合わせ、この明るさを合わせた第1の画像と第2の画像とを比較することによりパターンを検査するようにした。

660240" ZET46260